

# Core Technological Advantages and Application Efficiency Analysis of 10kV Switchgear Intelligent Monitoring Devices

Jingfa Wang Erjun Lou Qilin Lu Yanlei Wen Puyao Wang

State Grid Henan Electric Power Company Ruyang County Power Supply Company, Luoyang City, Henan, 471200, China

## Abstract

The 10kV switchgear intelligent monitoring device integrates multiple technologies to achieve accurate condition monitoring, intelligent analysis, and real-time early warning capabilities, thereby significantly enhancing equipment safety, reliability, and operational efficiency. Drawing on practical experience, this study analyzes the core technological advantages and application effectiveness of 10kV switchgear intelligent monitoring systems, aiming to provide valuable insights for industry professionals.

## Keywords

10kV switchgear; intelligent monitoring device; core technology; application efficiency

## 10kV 开关柜智能监测装置的核心技术优势及应用效能分析

王景法 娄二军 卢麒麟 温艳磊 汪浦要

国网河南省电力公司汝阳县供电公司, 中国·河南 洛阳 471200

## 摘要

10kV开关柜智能监测装置依靠多种技术融合,实现对开关柜运行状况的准确感知、智能分析以及及时预警目标,从而有效地提高设备运行的安全性、可靠性和经济性。鉴于此,本文结合实际工作经验,对10kV开关柜智能监测装置的核心技术优势及应用效能分析,以期为相关工作人员提供些许参考和借鉴。

## 关键词

10kV开关柜;智能监测装置;核心技术;应用效能

## 1 引言

电网安全稳定运行是能源保障的核心前提,10千伏户内交流金属封闭开关设备(以下简称开关柜)是电网110kV及以上电压等级变电站装用量最大的开关类设备,其可靠性直接关系到主变乃至变电站的安全稳定运行。伴随着智能电网的建设不断发展,对于开关柜运维的智能化、精细化要求也越来越高,智能监测装置的研发和应用成为破解设备运行监测难题、提高运维水平的重要途径。由此可见,对10kV开关柜智能监测装置的核心技术优势及应用效能等相关内容做出分析与阐述,具有十分重要的现实意义。

## 2 10kV 开关柜智能监测装置的核心技术优势

### 2.1 多参数融合监测,感知更全面

10kV开关柜智能监测装置将环境参数、热成像、电气数据三个方面相结合,达成对开关柜运行状况的全面感知。环境参数采集模块利用高精度传感器,对柜内温度、湿度等

环境参数进行实时采集,将模拟信号转化为二进制电信号,进行准确地处理,为后续分析工作打下基础;热成像采集模块使用热成像摄像头,实时监测柜内温度分布,重点捕捉高温区域,精准找到设备发热隐患;电气数据采集模块用高精度传感器,实时采集电压、电流、有功/无功功率等电气参数,全面掌握设备电气运行状况。三者共同作用,形成一个全方位的监测系统,可以随时检测设备运行状况<sup>[1]</sup>。

### 2.2 智能预警联动,响应更及时

运用边缘计算以及智能分析技术,能够促使开关柜装置由原来的被动告警变成现在的主动预警,大幅提升隐患处置的速度。装置内设有边缘计算模块,对采集到的原始数据实施滤波、特征提取等预处理措施,在缩减数据传输量的同时,迅速识别出异常数据特征,数据预警平台配备有机器学习算法,针对预处理过的数据展开深入分析,并找出其中隐藏的数据运行规律和异常走向,从而提早预测出可能产生的安全隐患。根据关键运行指标设置分级预警阈值,当指标达到或者超过阈值时,系统就会产生预警信息并以多种方式推送到运维人员,进而联动相应的模块完成数据的可视化呈现工作,为运维人员迅速处理隐患给予准确的引领方向,大幅

【作者简介】王景法(1982-),男,中国河南濮阳人,本科,高级工程师,从事电力工程研究。

缩减响应时间。

### 2.3 无线低耗设计，部署更便捷

使用无线通信、无线充电技术，能够完全克服传统装置有线部署的各种缺陷，适合于各种场景。数据传输使用4G/5G、LoRa、光纤等无线通信方式，不需要铺设复杂的线缆，可以降低安装难度和成本，并克服有线通信距离的限制，保证数据实时、稳定地上传到云平台或者调度中心<sup>[2]</sup>。配备大容量蓄电池、无线充电模块，不需要物理线路连接即可进行充电，简化充电过程，不需拆卸装置则可对续航进行补充，如此便可大幅减少线缆杂乱给维修造成的隐患。此外，低功耗设计方面，使用蓄电池供电能够减少能源消耗，在没有外接电源的情况下也可以保证装置长时间的稳定运行，适合于老旧变电站改造等复杂环境。

## 3 10kV 开关柜智能监测装置的核心技术应用要点

### 3.1 环境参数采集模块应用

环境参数采集模块的核心是保证监测数据的准确性、及时性，为设备运行环境调控提供可靠的依据。选择精度等级为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ （温度）、 $\pm 2\%\text{RH}$ （湿度）的高精度温湿度传感器，在安装环节根据开关柜内部结构特点，先布置在容易出现凝露、设备密集、通风不良的地方，电缆沟上方、母线室、断路器室等，安装高度距地面1.5m到2.0m之间，防止传感器被遮挡或者靠近热源（母线排、断路器），保证采集的数据可以真实地反映柜内环境的状态。传感器要定期做校准，每个季度至少做一次精度检测，运用标准校准仪进行比对调整，及时校准偏差，防止因为传感器失准造成数据误判<sup>[3]</sup>。采集频率可以按照季节和运行负荷来调节，高温、高湿季节和负荷高峰期，将采集频率提高到1次/分钟，正常工况下设置为1次/5分钟，保证可以及时发现环境参数的变化，当相对湿度达到85%RH的时候会自动启动凝露防控联动，为凝露防控、温度调控提供准确的数据支持。

### 3.2 热成像采集模块应用

热成像采集模块的应用重点是准确找出设备的发热隐患，从而达到设备异常早发现的目的。使用分辨率不小于640\*480像素、测温范围 $-20^{\circ}\text{C}$ 到 $150^{\circ}\text{C}$ 、测温精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的红外热成像摄像头，安装在开关柜观察窗内侧或者指定的监测位置，保证拍摄视角可以覆盖柜内的全部关键设备，特别是母线接头、断路器触点、电缆终端等容易发热的部位，视角盲区不大于5%。根据设备额定运行温度、环境温度以及《高压交流开关设备和控制设备共用技术要求》的规定，确定合适的温度监测阈值，并对温度等级进行划分，分成正常（ $\leq 70^{\circ}\text{C}$ ）、预警（ $70^{\circ}\text{C} \sim 90^{\circ}\text{C}$ ）、告警（ $> 90^{\circ}\text{C}$ ）三类，对应不同的处理措施。定期对热成像图像做灰度分析、温差比较，形成设备正常工作时温度分布档案，一旦发现检测部位和周围环境温差大于 $10^{\circ}\text{C}$ 就标记出来，则可利用历史数

据对比准确判定设备老化、接触不良、绝缘变坏等隐患所在，从而为设备状态检修指明方向。

### 3.3 电气数据采集模块应用

电气数据采集模块是电力监测的关键部分，在使用时应保证数据的准确性、完整性，为设备电气运行状况分析提供可靠的支持。模块安装环节，应严格按照变电规范执行，保证接线牢固、绝缘良好，防止由于接线错误或者接触不良造成数据采集异常；采集参数应包含电压、电流、有功功率、无功功率等主要电气量，采集频率要满足实时监测的要求，保证可以捕捉到设备瞬时运行异常，即短路、过载等故障的电气信号的变化。数据采集时要采取抗干扰措施，防止电磁干扰引起数据失真，可以采用屏蔽线缆、接地等方式改善数据采集的稳定状况，而且要定时对采集模块展开检修，核查传感器的状态及接线是否正常，迅速找出并消除设备的故障。

### 3.4 数据处理与传输模块应用

数据处理和传输模块的核心是实现数据的高效处理、稳定传输、准确反馈。边缘计算模块使用ARM Cortex-A9处理器，根据实际的应用场景来优化数据预处理算法，用卡尔曼滤波算法过滤掉无效的数据、修正异常的数据，数据压缩比控制在10:1以内，提高数据质量的同时降低传输和存储的负担。根据变电站实际环境来选择数据传输方式，在市区变电站中使用4G、5G通信（传输速率 $\geq 10\text{Mbps}$ ），在偏远地区使用LoRa通信（通信距离 $\geq 1\text{km}$ ），保证数据传输的稳定性与及时性；对数据传输要求高、通信要求高的核心变电站配置光纤通信（传输速率 $\geq 100\text{Mbps}$ ），提高数据传输速度及安全性。数据传输使用MQTT协议，传输过程中对数据进行AES-128加密，防止数据泄露或者被篡改，并且会定时查看传输模块的运行状况，设定通信中断告警阈值（中断时间大于30秒时就会发出告警信号），从而及时解决因通信中断或者数据丢失而产生的问题，保证数据可以实时上传到预警平台上，传输延迟小于500ms。

### 3.5 数据预警平台应用

数据预警平台应用的关键是对数据进行深入分析和准确预警，为运维决策提供科学依据。平台使用分布式数据库进行数据存储，可以支撑千万级的数据量，并且能够实现快速的查询和存储，对采集到的环境、热成像、电气等各方面的数据按照“采集时间—设备编号—参数类型”进行分类存储，数据保留时间不小于一年，保证数据的完整性和可追溯性，方便以后的历史数据查询和趋势分析。数据分析算法用LSTM神经网络模型，根据设备运行规律和历史故障案例不断改进模型参数，异常数据识别准确率达到98%以上，减少误预警、漏预警的情况发生。预警规则根据现场实际运维需求和《输变电设备状态检修试验规程》，制定，对各种异常情况进行区分，确定预警级别（一般、重要、紧急），预警推送方式（短信、平台弹窗、语音），以及处置时限，

保证运维人员在15分钟内接收到预警信息并开始处理<sup>[4]</sup>。平台的可视化部分简单明了,利用折线图、热力图、饼图等图形来表现设备运行数据和预警信息,可以同时多个设备、多个参数进行查看,有利于运维人员及时掌握设备运行情况。

### 3.6 装置安装与调试应用

装置安装和调试的规范性直接关系到监测的效果,必须严格按照变电规范和装置安装要求进行工作。安装前应全面检查开关柜,清除柜内杂物,检查设备布置及空间,确定各个模块的安装位置,保证安装后不会影响开关柜正常运行和操作。安装时做好模块固定、接线处理、绝缘保护,防止由于模块松动、接线脱落、绝缘破损造成设备故障。调试工作要分阶段进行,先对单个模块进行调试,检验各个模块的采集、处理、传输功能是否正常,然后对整个系统进行调试,测试模块之间的协同工作能力、数据传输的稳定性和预警功能的准确性。调试过程中要做好记录,及时发现并解决问题,保证装置达到设计运行标准后才能投入使用。

#### 4 10kV 开关柜智能监测装置的核心技术应用效能

### 4.1 强化安全防控,降低事故风险

全方位、实时化监控加智能预警,可以弥补传统运维模式存在的安全漏洞,明显减少开关柜安全事故的发生。装置能对柜内温度、湿度的改变实施及时监控,立刻发出凝露、过热之类的报警信号,防止因为绝缘变差,设备老化的缘由而引发短路、接地之类的严重事故,从而避免出现设备被烧毁或者主变跳闸等严重问题。热成像技术的应用可以准确找到设备发热的地方,及时发现接触不良、设备老化等问题,为检修工作提供精准的指导,实现隐患早发现、早处理。同时装置应用可以减少运维人员和开关柜的近距离接触,降低人身安全风险,真正保证变电站人员和设备的安全,减少由于安全事故造成的经济损失和社会影响<sup>[5]</sup>。

### 4.2 优化运维模式,降低运维成本

依靠智能化、远程化的监测手段,将传统的人工定时巡检的运维方式彻底改变为现在的运维模式,从而达到提高运维效率和降低运维成本的目的。远程实时监测减少人工现场巡检次数,降低运维人员工作量和人力投入,适合于存量大、运维人员少的变电站开关柜运维,大幅节约人工成本。10kV 开关柜智能监测装置的运用能够准确预警以及故障定位功能,有效缩减故障诊断的时间和设备检修的工作量,从而避免出现由于误修而造成的人力、物力的浪费,并且能够削减因设备发生故障而引起的停电时长,进而减少负荷损失

的情况发生。根据实际情况的运维数据来使用本装置,可以有效地防止由于设备损坏造成的事故,以单台开关柜维修费用7000元为基准,可以减少年度维修成本,提高运维的经济效益。

### 4.3 提升运行效率,助力智能运维

10kV 开关柜智能监测装置对开关柜运行状况实施准确检测并加以数据化剖析,为设备运行优化和智能运维提供有力支撑,明显改善设备运行效能。实时监测的环境、电气数据可以成为调整设备运行参数的依据,根据调整后的运行参数,改变设备的运行参数,从而达到节约能源的目的,提高设备的运行效率和能源利用率。数据预警平台对数据实行集中管理并加以可视化展现,有利于运维人员全面知晓设备运转状况,从而达成运维工作精细化、智能化的管控,进而优化运维管理水准。装置模块化设计以及开放的数据接口,可以很容易地将其接入变电站综合自动化系统、配电物联网平台之中,从而达到数据共享和集中监控的目的,促使电网运维朝着数字化、智能化的方向发展,适应智能电网建设的需求。

## 5 结语

10kV 开关柜智能监测装置依靠全方位的监测功能、智能化的预警手段和方便快捷的安装方式,很好地解决开关柜运维中遇到的各种问题,对提高设备运行的安全性、改善运维模式、缩减运维成本等方面起到重要作用。10kV 开关柜在电网系统中有着非常重要的作用,直接对配网及用户供电。10kV 开关柜起控制与保护作用,可以及时切除故障电流,保障上一级设备安全,防止故障扩大。智能监测装置的使用,为开关柜的安全稳定运行提供了有力保障,也为电网智能化运维开辟了一条可行的道路,对促进电力行业的高质量发展大有裨益。

### 参考文献

- [1] 孙道宇. 矿用10 kV高压开关柜智能监测系统设计与应用分析[J]. 矿业装备, 2025, (11): 43-45.
- [2] 杨语堂. 开关柜智能监测与维护技术的分析[J]. 电子技术, 2025, 54 (07): 121-123.
- [3] 常斌. 煤矿10kV高压开关柜智能监测系统设计与应用[J]. 今日制造与升级, 2025, (02): 65-68.
- [4] 杨再兴. 浅谈智能监控装置在开关柜中的应用[J]. 机电信息, 2020, (33): 55-56.
- [5] 蒋延磊, 郑俊洋, 梁璐. 变压器有载开关智能在线监测系统开发[J]. 电子世界, 2020, (19): 160-161.